

Vom Top-Quark zum Higgs-Boson: Die Suche nach den schwersten Bausteinen der Natur

Th. Müller, Institut für Experimentelle Kernphysik, Universität Karlsruhe

Einleitung

Die Frage nach den kleinsten Bausteinen der Materie haben sich Menschen seit Urzeiten gestellt. Eine der wichtigsten Erkenntnisse über die Struktur der Atome erlangten Rutherford, Geiger und Marsden, als sie 1909 Alphateilchen auf eine dünne Goldfolie schossen. Aus der Winkelverteilung der an den Goldatomen gestreuten Partikel konnten sie schließen, dass fast die gesamte Masse des Atomes in einem sehr kompakten Kern konzentriert ist, der von einer Elektronenwolke umhüllt ist. In vergleichbaren Experimenten der modernen Elementarteilchenphysik wurde in den Sechziger und Siebziger Jahren auf die Existenz von punktförmigen Konstituenten – sog. Quarks – in Protonen, Neutronen und generell allen Kernteilchen geschlossen. Die Elektronen wiederum gehören, eben-

so wie die ungeladenen Neutrinos, zu den sog. Leptonen. Nach unserem heutigen Wissensstand, der im „Standardmodell“ zusammengefasst ist [1], sind Quarks und Leptonen, auch Fermionen genannt, die fundamentalen Bausteine der Materie. Entsprechend ihrer Massen und Ladungen lassen sie sich in drei „Familien“ anordnen (vgl. Tab. 1) [2]. Die stabile und uns vertraute Materie setzt sich aus Fermionen der ersten Familie zusammen, während die schwereren Teilchen aus den beiden übrigen Familien bereits in den Frühzeiten nach dem Urknall in die heute beobachteten zerfallen sind. Die Fermionen wechselwirken miteinander durch den Austausch von Kraftteilchen, sog. Bosonen, von denen das Photon als Träger der elektromagnetischen Wechselwirkung das bekannteste ist. Hinzu kommen die Starke Wechselwirkung, Ursprung der Kernkräfte, die durch

Austausch von sog. Gluonen erfolgt, sowie die Schwache Wechselwirkung, deren Träger die sehr massiven W- und Z-Bosonen sind (vgl. Tab. 2).

Um heute das Geheimnis der Elementarteilchen lüften zu können, werden sie künstlich an Hochenergiebeschleunigern erzeugt und deren Zerfallsprodukte mit Detektoren nachgewiesen. Hierbei bedienen sich die Physiker der berühmten Formel Einsteins, derzufolge aus Energie Masse erzeugt werden kann: $E = mc^2$. Je schwerer die Teilchen sind, desto höher muss die Energie des Beschleunigers sein. Daher dauerte es seit der Vorhersage seiner Existenz noch gute 17 Jahre, bis das Top-Quark am Fermilab bei Chicago im Jahre 1994 erstmals gesichtet wurde [3]. Mit der Entdeckung des Top-Quarks, an der auch Physiker des IEKP beteiligt waren, ist nach herkömmlicher

	I Masse	II Masse	III Masse	El. Ladung
Leptonen	$\nu_e < 4.5 \text{ eV}$ e 511 keV	$\nu_\mu < 170 \text{ keV}$ μ 106 MeV	$\nu_\tau < 24 \text{ MeV}$ τ 1.78 GeV	0 – 1
Quarks	u 5 MeV d 10 MeV	c 1.5 GeV s 150 MeV	t 175 GeV b 4.7 GeV	+2/3 –1/3
Die Zeichen sind Symbole: ν – Neutrino, e – Elektron, μ – Myon, τ – Taulepton, u – Up, d – Down, c – Charm, s – Strange, t – Top, b – Bottom				

Tab. 1: Die fundamentalen Fermionen [2]

	Photon	W^\pm	Z^0	Gluonen
Wechselwirkung	elektromagnetisch	schwach	schwach	stark
Masse	0	80.356 GeV	91.186 GeV	0
Ladung	0	± 1	0	0

Tab. 2: Die fundamentalen Bosonen [2]

Auffassung das „Periodensystem“ der Materie vervollständigt worden.

Unverstanden ist allerdings bis heute die Vielzahl der Teilchen und ihrer Wechselwirkungen. Ein Schlüssel zu diesem Rätsel ist der Mechanismus, wie Teilchen ihre Masse erhalten. Im Rahmen des Standardmodells wird angenommen, dass ein weiteres Kraftteilchen, das nach seinem Erfinder benannte Higgs-Boson, durch Kopplung an die Elementarteilchen ihnen ihre Masse verleiht. Nach dem Higgs-Boson wird in den kommenden Jahren in einem spannenden Wettlauf sowohl in den USA als auch in Eu-

ropa am CERN bei Genf gefahndet. Da das IEKP an beiden Orten forscht, sollten wir in jedem Falle zu den Ersten gehören, die dieses Teilchen zu Gesicht bekommen werden!

Der experimentelle Nachweis des Top-Quarks

Der erste direkte Hinweis auf die Existenz des Top-Quarks wurde 1994 von dem CDF-Experiment (Collider Detector at Fermilab) geliefert. Ein Jahr später wurde – mit deutlich erhöhter Datenmenge – die Entdeckung des Top-Quarks von beiden am Fermilab Speicherring „Tevatron“ laufen-

den Experimenten CDF und D0 offiziell verkündet [4]. In diesem zur Zeit leistungsfähigsten Teilchenbeschleuniger der Welt prallen Strahlen von Protonen und Antiprotonen frontal aufeinander. Während es Protonen, Kerne des Wasserstoffs, im Überfluss gibt, müssen Antiprotonen – die Antiteilchen von Protonen, übrigens selbst erst noch mit einem der Beschleuniger am Fermilab erzeugt und aufgesammelt werden. Beim Betrieb des Tevatron finden pro Sekunde typischerweise rund 500000 inelastische Kollisionen je eines Protons mit einem Antiproton statt, bei denen jeweils eine Energie von 2 TeV (Tera Elektronenvolt) freigesetzt wird. Diese Kollisionsereignisse, bei welchen oft mehr als hundert Sekundärteilchen entstehen, werden von den Detektoren nachgewiesen und von leistungsfähigen Rechnern rekonstruiert. Abb. 1 ist ein Foto von CDF in der Montagehalle. Die zylindrische Öffnung gewährt Einblick auf eine im Zentrum befindliche Spurenkammer, durch deren Achse während der Datennahme die Strahlen laufen. Die Spurenkammer weist elektrisch geladene Partikel nach, während die sie umgebenden Detektoren, sog. Kalorimeter, geladene und neutrale Teilchen nachweisen und deren Energie vermessen. Während der Datennahme umschließt der Detektor den Kollisionsort in allen Raumrichtungen, um Ereignisse möglichst vollständig rekonstruieren zu können.

Für die Entdeckung des Top-Quarks war eine insgesamt vier Jahre dauernde Messphase nötig, bei der ca. $6 \cdot 10^{12}$ inelastischen Proton-Antiproton-Kollisio-

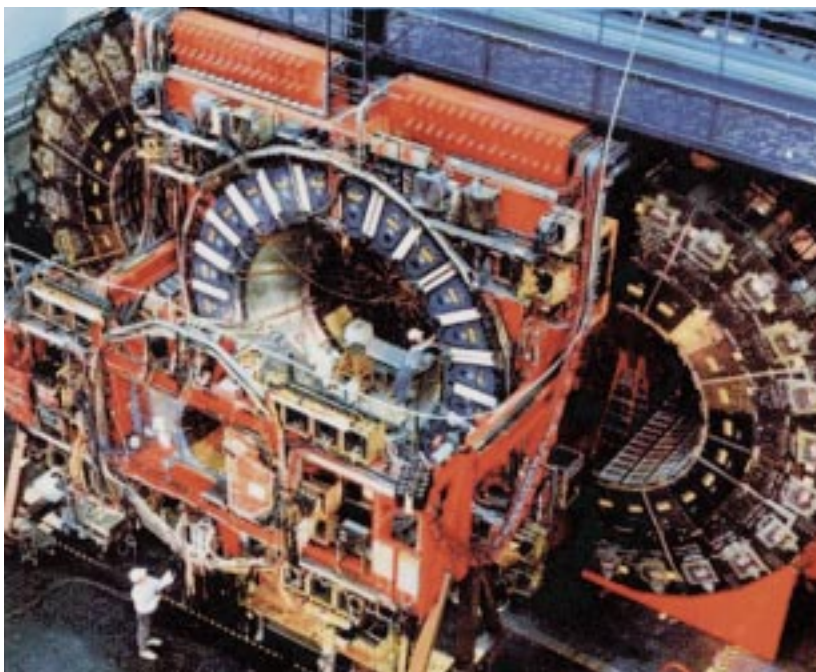


Abb. 1: Photographie des CDF-Detektors in der Wartungshalle. Die zylindrische Öffnung gewährt Einblick auf die zylinderförmige Spurenkammer, in deren Zentrum während der Datennahme die Strahlen gegeneinanderprallen. Dem Aufbau einer Zwiebel gleich umhüllen weitere Detektorlagen den Zentralbereich, um alle Arten von bei einer Kollision erzeugten Teilchen registrieren zu können. Während des Messbetriebes umschließt der Detektor den Kollisionsort der Strahlen fast vollständig.

nen stattgefunden hatten. Hier- von hat jeder Detektor ca. 10^8 Er- eignisse anhand besonderer To- pologie ausgewählt und auf Band geschrieben. In diesen Ereignis- sen, die überwiegend aus elasti- schen Streuungen von Quarks oder Gluonen in Proton und Anti- proton herrühren (s.u.), sollten sich auch einige Dutzend Top- Quarkereignisse befinden.

Top-Quarks werden vorwiegend paarweise bei der Annihilation je eines der Quarks in Proton und Antiproton erzeugt (vgl. Abb. 2). Obwohl dieser Prozess durch die starke Wechselwirkung vermittelt wird, ist der Wirkungsquerschnitt wegen der Punktförmigkeit der Quarks sehr klein. Er lässt sich theoretisch recht genau berech- nen und liegt bei 5 pb , 10^{10} mal kleiner als der totale Wirkungs- querschnitt inelastischer Proton- Antiproton-Kollisionen! Top- Quarks lassen sich anhand ihrer charakteristischen Zerfallssigna- tur identifizieren. Nach dem Stan- dardmodell zerfällt es fast aus- schließlich in das nächstschwere Bottom-Quark und ein W-Boson, welches seinerseits in ein gela- denes Lepton + Neutrino (33%) oder in zwei leichtere Quarks zer- fällt (67%). Von den geladenen Leptonen lassen sich Elektronen und Myonen mit großer Effizienz im Detektor nachweisen. Neutri- nos, die nicht im Detektor wech- selwirken, führen zu einem Fehl- betrag in der Energiebilanz im re- konstruierten Ereignis und lassen sich so indirekt vermessen. Die leichteren Quarks sind übrigens nicht direkt beobachtbar, sondern nur die aus ihnen in Folge der Starken Wechselwirkung hervor-

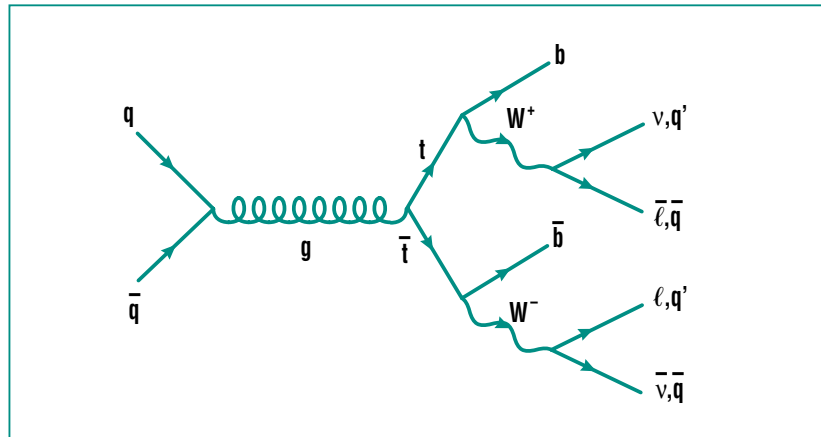


Abb. 2: Erzeugung und Zerfall eines Paares von Top-Quarks am Tevatron. Je ein Quark in Proton und Antiproton vernichten sich zu einem hochenergetischen Gluon, aus dem das Top-Quark und das Top-Antiquark hervorgehen. Beide wandeln sich um („zerfallen“) in je ein Bottom-Quark und ein W-Boson, welches selbst in ein Lepton ℓ und ein Neutrino ν oder in zwei leichte Quarks zerfällt.

gegangenen Teilchenschauer, die sog. Jets.

Um die seltenen Top-Ereignisse aus der großen Datenmenge zu extrahieren, muss man sich auf Signaturen beschränken, die bei den sehr viel häufigeren Untergrund-Ereignissen so gut wie nicht auftreten. Die verbleiben- den Untergrundereignisse rühren dann von Fluktuationen oder von Fehlern des Detektors her, die die Signatur des Signals vortäu- schen. Am vielversprechendsten ist der Kanal, in welchem das eine W-Boson in Leptonen, das zweite in Quarks zerfallen ist. In diesem Fall erwarten wir also Er- eignisse mit einem Elektron oder Muon, fehlender Energie und vier Jets, von denen zwei je ein Bot- tom-Hadron (oder kurz B-Ha- dron) enthalten. Um die Präsenz dieser B-Hadronen nachzuwei- sen, nutzen wir ihre „hohe“ Le- bensdauer von typischerweise $1,5 \text{ Picosekunden}$ aus. Diese

führt dazu, dass sie erst nach ei- nigen mm Flugstrecke in leichtere Teilchen zerfallen. Eine sehr prä- zise Vermessung aller Teilchen- bahnen mit Hilfe von Silizium- streifendetektoren erlaubt den Nachweis solcher versetzter Zer- fallsorte. Ein schönes Beispiel, wie solche rekonstruierten Ereig- nisse aussehen, ist in Abb. 3 ge- zeigt. In Teil a dieser Abbildung sind die im Zentraldetektor rekon- struierten Teilchenspuren eines Ereignisses mit einem positiven W-Boson und vier Jets darge- stellt. In den Teilen b und c, die ei- ne vergrößerte Darstellung von Teil a darstellen, sind die Zerfalls- orte der beiden B-Hadronen deut- lich zu erkennen. Die beiden Jets, die kein B-Hadron enthalten, stammen vom Zerfall des W^- (Jet 3 und 4, siehe Teil a).

Insgesamt wurden in unter- schiedlichen Zerfallskanälen von CDF mehr als 100 Kandidaten gefunden, von D0 etwa 50, wobei

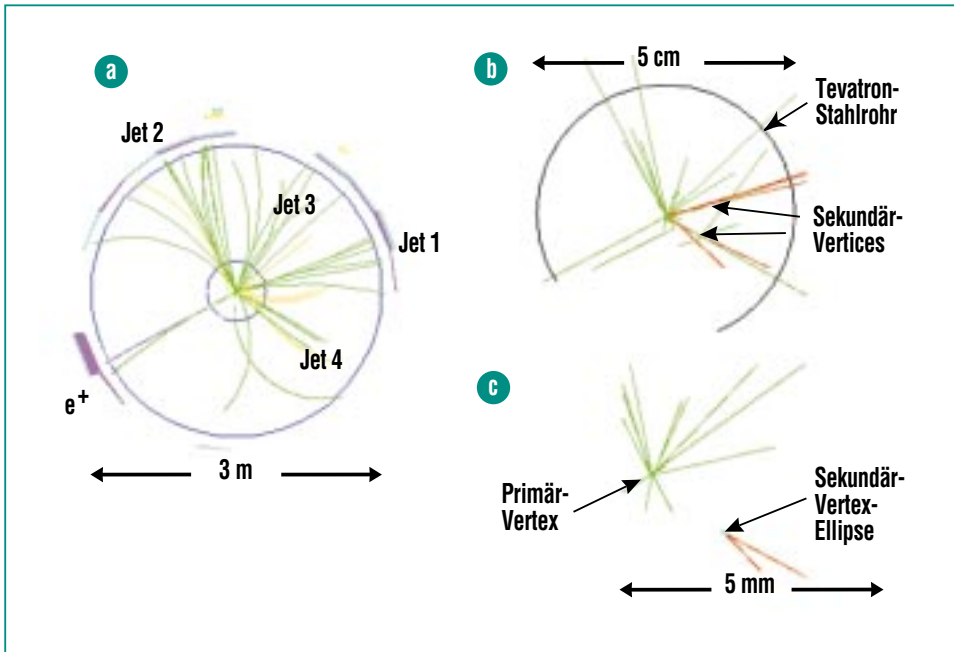


Abb. 3: Von CDF rekonstruiertes Top-Antitop-Ereignis. Die Darstellung in Teil a zeigt die Teilchenspuren der vier Jets und vom Positron eines W-Bosonzerfalls in der Projektion senkrecht zur Strahlachse. Erst die starken Vergrößerungen in Teil b und c zeigen die beiden Zerfallsorte („Vertices“) der Bottom-Hadronen, die in den Jets 1 und 4 gefunden wurden. Damit können Jet 2 und 3 dem Zerfall des zweiten W-Bosons zugeordnet werden. Allein dieses einzige Ereignis erlaubt bereits eine Berechnung der Masse des Top-Quarks von $170 \text{ GeV}/c^2$ mit einer Unsicherheit von nur 6%!

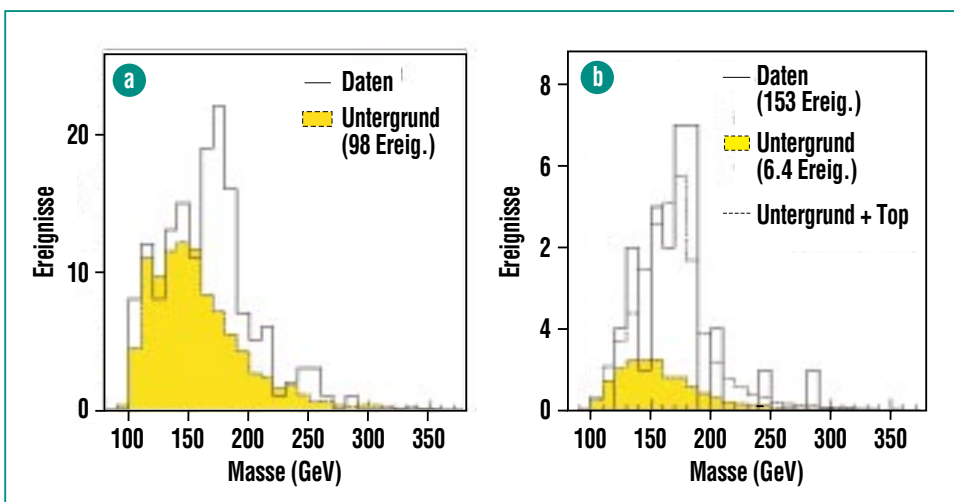


Abb. 4: Von CDF rekonstruierte Top-Quark-Massen. Über die breite Verteilung des errechneten Untergrundes (schattiert) erhebt sich gut sichtbar die Spitze des Top-Signals (4a und 4b). Im Teil 4b des Bildes wird der Nachweis eines der beiden Bottom-Hadronen verlangt, was den erwarteten Untergrund sehr stark reduziert.

der verbleibende Untergrund etwa die Hälfte der Ereignisse ausmacht. Die aus den Signallraten berechneten Wirkungsquerschnitte (6.5 bzw. 5.2 pb) stimmen innerhalb ihrer Messungenauigkeit recht gut mit der theoretischen Voraussage überein. Die wichtigste Eigenschaft des Top-Quarks, dessen Masse, wird aus der Kinematik der Zerfallsprodukte berechnet. In Abb. 4 ist die Verteilung der rekonstruierten Massen von CDF zusammen mit der Monte-Carlo-Simulation des Untergrundes (gepunktetes Histogramm) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die Zahl der Untergrundeignisse ohne B-Markierung deutlich höher ist als die des Signals, aber durchaus eine Massenbestimmung zulässt (Abb. 4a). Am saubersten wird das Signal, wenn eine zusätzliche B-Markierung gefordert wird. (Abb. 4b). Mit einem gemittelten Wert von $174 \pm 5 \text{ GeV}/c^2$, der recht gut mit den Standardmodellvorhersagen übereinstimmt [5], ist das Top-Quark etwa so schwer wie ein Goldatom und erheblich schwerer als jedes andere bekannte Elementarteilchen (ein Proton wiegt etwa $0.94 \text{ GeV}/c^2$).

Es ist daher naheliegend, zu fragen, ob das Top-Quark in allen messbaren Eigenschaften den Standardvorstellungen entspricht. Dazu gehört die Überprüfung seines Produktionsmechanismus (s.o.). Von besonderem Interesse dabei ist die Suche nach zusätzlichen Quellen von Top-Antitop-Paaren, z.B. neuen exotischen Teilchen, die bevorzugt in Top-Quarks zerfallen und als Alternative zu dem Higgs-Boson des Standardmodells gehandelt werden.

Von Interesse ist auch die Möglichkeit von Top-Zerfällen in exotische Teilchen wie z.B. in ein geladenes Higgs-Boson. In den bislang genommenen Daten sind allerdings keine anomalen Ereignisse beobachtet worden, die auf Physik jenseits des Standardmodells schließen ließen. Für diese Untersuchungen, an denen das IEKP besonderes Interesse hat, ist die derzeitige Datenmenge noch viel zu klein. In den kommenden Jahren werden neue Datennahmen am Fermilab mit verbesserten Detektoren die Ausbeute ver Hundertfachen, sodass wir dieses geheimnisvolle Teilchen sehr detailliert durchleuchten können werden [6].

Sind Quarks fundamentale Teilchen?

Das Mysterium um die Vielzahl der Elementarteilchen in Tabelle 1 bzw. 2 und deren großen Massenunterschiede legt den Gedanken nahe, dass sie aus kleineren, fundamentalen Teilchen zusammengesetzt sein könnten. Um dieser Frage nachzugehen, wurden Ereignisse untersucht, bei denen Quarks der kollidierenden Protonen und Antiprotonen mit höchstmöglicher Energie gegeneinandergestoßen waren. Diese Ereignisse sind dadurch gekennzeichnet, dass die abgelenkten Quarks als hochenergetische Teilchenjets im Detektor auftreten. Für die Annahme, dass die beobachteten Jets von der elastischen Streuung von punktförmigen Quarks herrühren, lässt sich ihre Häufigkeitsverteilung in Abhängigkeit ihrer Energie mit der Theorie der Starken Wechselwirkung präzise voraussagen.

In der Tat wurde jedoch eine starke Abweichung der theoretischen Voraussage beobachtet, woraus zunächst geschlossen wurde, dass bei den höchsten Energien nicht mehr die Quarks selbst, sondern kleinere Konstituenten miteinander in Wechselwirkung treten. Die genau vermessene Winkelverteilung der Jets, sozusagen eine Wiederholung des Rutherford-Experimentes mit CDF, war aber im Widerspruch zu dieser Interpretation und bevorzugte die Hypothese der punktförmigen Quarks. Spätere Untersuchungen zeigten, dass veränderte Annahmen über die Dichteverteilung der (punktförmigen) Quarks im Proton unsere Daten erklären können. Sollten Quarks dennoch ausgedehnte Objekte sein, so können sie nach heutigem Wissen nicht größer als ein Zehntausendstel des Durchmessers eines Atomkerns sein. Übertragen in makroskopische Dimensionen: wären Atome so groß wie die Erde, so wären Quarks und Leptonen höchstens so groß wie ein Knopf! Auch in diesem Fall warten wir mit Spannung auf die kommenden Datennahmen, die eine noch präzisere Vermessung der Quarks versprechen.

Die Suche nach dem Higgs-Boson

Insgesamt sieht es nach unserem jetzigen Wissen so aus, dass das Top-Quark ein vom Standardmodell korrekt beschriebenes fundamentales Teilchen ist. Daher konzentriert sich das Interesse der Teilchenphysiker nun auf die Suche nach dem seit Jahrzehnten vorausgesagten Higgs-Boson.

Die wichtigste Eigenschaft des Higgs-Bosons, seine Masse, lässt sich auch ohne dessen Nachweis im Rahmen des Standardmodells aus den Eigenschaften der übrigen Elementarteilchen errechnen. Entscheidend tragen dazu die Massen der W-Bosonen und des Top-Quarks bei. Diese Zusammenhängigkeit der Massenwerte ist in Abb. 5 zu sehen [7], der wir auch entnehmen, dass das Higgs-Boson mit großer Wahrscheinlichkeit nicht schwerer als $170 \text{ GeV}/c^2$ sein kann. Andererseits muss das Higgs-Boson schwerer als $114 \text{ GeV}/c^2$ sein, wie von den vier Ex-

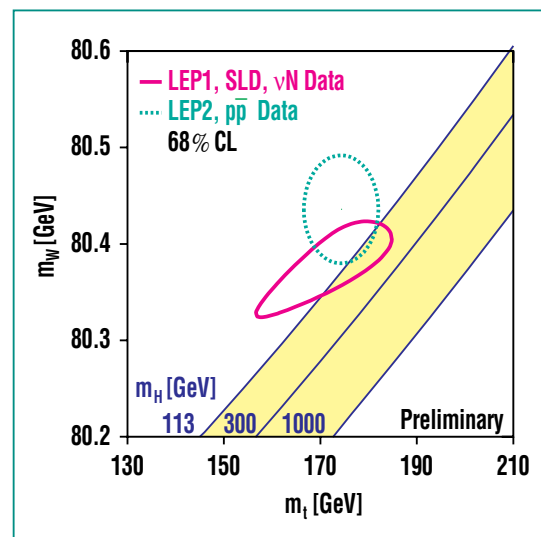


Abb. 5: Masse des W-Bosons aufgetragen gegen die Masse des Top-Quarks. Das durchgezogene Oval stammt von Berechnungen, denen Präzisionsmessungen hauptsächlich von LEP-Experimenten zu Grunde liegen, die gestrichelte von direkten Messungen. Die Kurven liegen über dem schattierten Bereich, der von Standardmodellrechnungen mit unbekannter Higgs-Bosonmasse stammt. Aus dem Schnittbereich der Kurven lässt sich entnehmen, dass das Higgs-Boson aller Voraussicht nach leichter als 170 GeV sein sollte.



Abb. 6: Fotografie der Region „Pays de Gex“ am Jura vor den Toren Genfs, mit den Umrissen des unterirdischen Beschleunigers Large Hadron Collider.

perimenten am LEP-Beschleuniger am CERN herausgefunden wurde. (Im vergangenen Jahr wurde ein wenn auch schwaches Signal am CERN beobachtet, das aber auch mit Untergrundprozessen erklärt werden kann [8].)

Wenn wir uns auf den Zeitplan des Fermilab verlassen, so besteht eine gute Chance, das Higgs-Boson mit den beiden Detektoren CDF und D0 zu finden, sofern die Masse im Bereich bis ca 120 GeV/c² liegt [9]. Am leichtesten lassen sich Higgs-Bosonen nachweisen, die von W-Bosonen abgestrahlt werden. Am häufigsten zerfällt es in diesem Massenbereich in zwei Bottom-

Quarks, sodass wir in unseren Daten nach Endzuständen mit einem W-Boson mit Zerfall in Lepton und Neutrino sowie zwei Teilchenjets mit Bottom-Hadronen zu suchen haben. Wir gehen also wieder ähnlich vor wie bei der Suche nach dem Top-Quark, nur dass diesmal das Ereignis einen simpleren Endzustand aufweist. Der Nachteil ist, dass es dann auch sehr viel mehr Untergrundereignisse geben wird. Um dennoch ein statistisch signifikantes Signal zu finden, benötigen wir riesige Datenmengen, für die der Beschleuniger am Fermilab noch viele Jahre laufen muss. Daher besteht durchaus die Möglichkeit, dass erst der sehr viel leistungs-

fähigere Large Hadron Collider, der 2006 am CERN in Betrieb genommen wird, die endgültige Entdeckung erbringen wird. In Abb. 6 ist eine Luftaufnahme vom CERN mit der Markierung des Verlaufs dieses unterirdischen Teilchenbeschleunigers zu sehen, der mit 27 km Umfang der größte der Welt sein wird. An der Konstruktion eines der beiden LHC-Detektoren, dem Compact Muon Solenoid CMS (Abb. 7), ist das IEKP mit sehr großem Einsatz beteiligt [10]. Wie ein Higgs-Signal nach einer dreijährigen Datennahme dann aussehen könnte, ist mit einer Simulationsstudie des IEKP in Abb. 8 veranschaulicht [11].

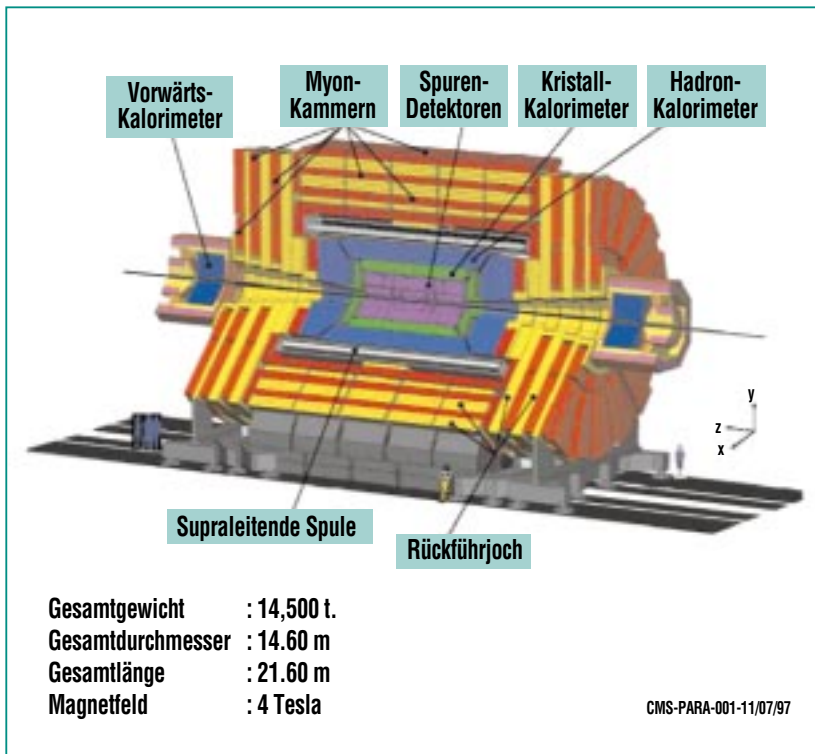


Abb. 7: Aufbau des im Bau befindlichen CMS-Detektors am Large Hadron Collider. Das IEKP ist am Bau des inneren Spurendetektors beteiligt, der mit Lagen von etwa 220 m² von Siliziumstreifendetektoren der größte der Welt sein wird. Fertigstellung wird 2005 sein.

Ausblick

Auch wenn mit der Entdeckung des schwersten Materieteilchens unser Verständnis von den Kräften und kleinsten Elementen der Natur sehr erweitert wurde, bleiben dennoch wichtige Fragen der Teilchenphysik unbeantwortet: Gibt es das Higgs-Boson wirklich? Besitzen die leichtesten Materieteilchen, die Neutrinos, überhaupt eine Masse? Woraus setzt sich die sog. dunkle Materie, die mehr als 90% aller Masse im Uni-

versum ausmacht, zusammen? Welcher Mechanismus ist dafür verantwortlich, dass im heutigen Universum nur Materie existiert, während am Anfang Antimaterie in gleicher Quantität vorhanden war? Einige Probleme mögen in den kommenden Jahren an den existierenden Teilchenbeschleunigern gelöst werden, eine umfassendere Klärung der noch offenen Fragen der Teilchenphysik wird aber erst mit dem Large Hadron Collider möglich sein. Das Institut für Experimentelle Kern-

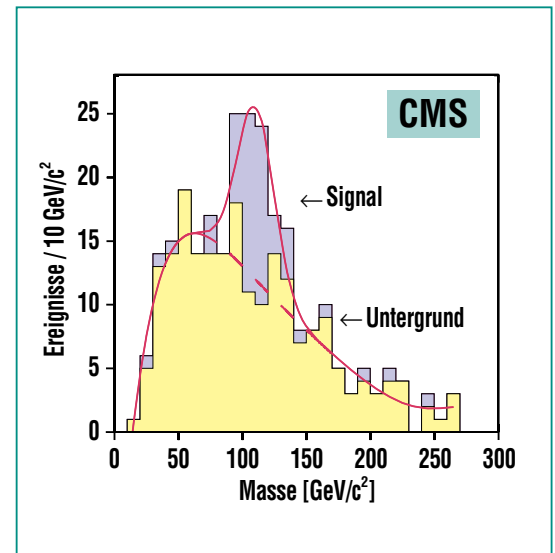


Abb. 8: Simulationsstudie der Erzeugung und des Nachweises von 115 GeV/c² schweren Higgs-Bosonen und deren Untergrundereignissen im CMS-Detektor. Wir gehen davon aus, dass der Large Hadron Collider eine entsprechende Datenmenge in den ersten drei Betriebsjahren liefern wird. Allerdings sollte ein recht klares Signal bereits nach einem Jahr sichtbar werden, sofern das Higgs-Boson nicht sehr viel schwerer ist!

physik der Universität Karlsruhe ist in enger Verbindung mit dem Institut für Kernphysik des FZK in einer Schlüsselposition, zu diesen Fragen maßgeblich beitragen zu können.

Literatur

- [1] S.L. Glashow,
Nucl. Phys. 20, 579 (1961);

S. Weinberg,
Phys. Rev. Lett. 19, 1264 (1967).
- [2] D.E. Groom et al.,
The European Physical Journal C 15 (2000) 1.
- [3] F. Abe et al.
(CD -Kollaboration),
Phys. Rev. D 50, 2966 (1994).
- [4] F. Abe et al.
(CDF-Kollaboration),
Phys. Rev. Lett. 74, 2626 (1995);

S. Abachi et al.
(D0-Kollaboration),
Phys. Rev. Lett. 74, 2632 (1995).
- [5] D. Schaile,
(Für die Electroweak Working Group), „Precision Tests of the Electroweak Interaction“, *Proc. 27th International Conference on High Energy Physics, Glasgow, 1994.*
- [6] Top Working Group,
<http://lutece.fnal.gov/thinkshop/>;

H. Stadie,
Diplomarbeit, IEKP/99-25.
- [7] LEP Working Group,
<http://www.cern.ch/LEPEWWG>;

B. Pietrzyk,
Proc. XXXth International Conference on High Energy Physics, Osaka (Japan) 2000;

W. Hollik
(Institut für Theoretische Physik Universität Karlsruhe),
private Mitteilung.
- [8] LEP-Higgs Working Group,
<http://www.cern.ch/LEPHIGGS>.
- [9] Tevatron Higgs Working Group,
FERMILAB-Conf-00/279-T;
hep-ph/0010338.
- [10] CMS Technical Proposal,
CERN/LHCC 94-38;

www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/CMS.
- [11] V. Drollinger, Th. Müller,
Presentation at the Workshop on Physics with CMS, Bombay, Dec. 2000; *CMS-KA-Note 59.*